

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-218982

(43) 公開日 平成4年(1992)8月10日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 43/08

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

Z 7342-4M

審査請求 未請求 請求項の数1(全6頁)

(21) 出願番号 特願平3-78824

(22) 出願日 平成3年(1991)4月11日

(31) 優先権主張番号 特願平2-131602

(32) 優先日 平2(1990)5月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平2-155665

(32) 優先日 平2(1990)6月14日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平2-243076

(32) 優先日 平2(1990)9月12日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002336

財団法人生産開発科学研究所

京都府京都市左京区下鴨森本町15番地

(72) 発明者 新庄 輝也

京都府宇治市木幡御蔵山39-1055

(72) 発明者 山本 英文

兵庫県神戸市長田区雲雀丘3丁目5-6

(72) 発明者 高田 利夫

京都府京都市左京区北白川西瀬の内町1

(74) 代理人 弁理士 育山 藤 (外1名)

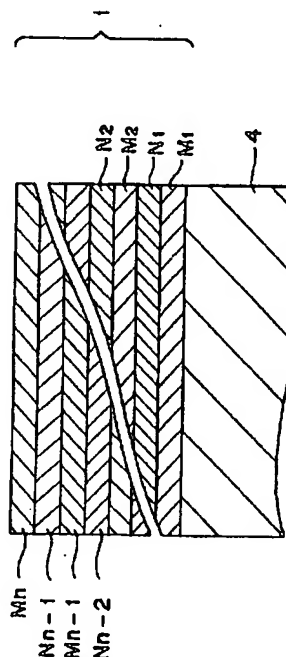
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子

(57) 【要約】

【構成】 基板、及び該基板上に非磁性薄膜層を介して積層された少なくとも2層の磁性薄膜を有して成り、非磁性薄膜層を介して隣合う磁性薄膜の保磁力が異なり、磁性薄膜層及び非磁性薄膜層の厚みが各々200オングストローム以下であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【効果】 この磁気抵抗効果素子は、数Oe～数十Oe程度の小さい外部磁場で数%～数十%の大きい抵抗変化率を示す。従って、高感度の磁気抵抗効果型磁気センサー及び高密度磁気記録が可能な磁気抵抗効果型磁気ヘッドを提供することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板、及び該基板上に非磁性薄膜層を介して積層された少なくとも2層の磁性薄膜を有して成り、非磁性薄膜層を介して隣合う磁性薄膜の保磁力が異なり、磁性薄膜層及び非磁性薄膜層の厚みが各々200オングストローム以下であることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、磁気媒体等において、磁界強度を信号として読み取るための磁気抵抗効果素子に関するものである。実用性の高い磁気抵抗効果素子は、小さい外部磁場で、抵抗変化率が大きいことが要求される。本発明に係る磁気抵抗効果素子は、小さい外部磁場で、抵抗変化率が大きく、充分な実用性を有している。

## 【0002】

【従来の技術】近年、磁気センサーの高感度化、及び磁気記録における高密度化が進められており、これに伴い磁気抵抗効果型磁気センサー（以下、MRセンサーという。）及び磁気抵抗効果型磁気ヘッド（以下、MRヘッドという。）の開発が盛んに進められている。MRセンサーもMRヘッドも、磁性材料からなる読み取りセンサー部の抵抗変化により、外部磁界信号を読み出す訳であるが、MRセンサー及びMRヘッドは、記録媒体との相対速度が再生出力に依存しないことから、MRセンサーでは高感度が、MRヘッドでは高密度磁気記録においも高い出力が得られるという特長がある。

【0003】しかし、従来の異方性磁気抵抗効果による磁性体 $\text{NiO}$ 、 $\text{FeO}$ 等を利用したMRセンサーでは、抵抗変化率 $\Delta R/R$ （後に定義する。）がせいぜい2～5%位であることから、さらに抵抗変化率の大きなMR素子が求められてきた。

【0004】最近、磁性層間で磁化方向が互いに逆向きになっている $[\text{Fe}/\text{Cr}]N$ を代表とする人工格子膜で大きな磁気抵抗効果が起きることが発見された〔フィジカル・レビュー・レターズ（Phys. Rev. Lett.）第61巻、2472頁、1988年〕。しかし、この人工格子膜では最大抵抗変化の起きる外部磁場が十数kOe～数十kOeと大きく、このままでは実用性がない。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来のMRセンサー及びMRヘッドでは抵抗変化率が小さく、また $\text{Fe}/\text{Cr}$ をはじめとする人工格子膜では抵抗変化の起こる外部磁場が大きすぎるという問題があった。本発明者らは、この問題点を解決するため鋭意研究を重ねた結果、極めて実用性の高い磁気抵抗効果素子の作製に成功したのである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】すなわち、本発明は、基

板、及び該基板上に非磁性薄膜層を介して積層された少なくとも2層の磁性薄膜を有して成り、非磁性薄膜層を介して隣合う磁性薄膜の保磁力が異なり、磁性薄膜層及び非磁性薄膜層の厚みが各々200オングストローム以下であることを特徴とする磁気抵抗効果素子を提供するものである。

【0007】本発明の磁気抵抗効果素子では、非磁性薄膜層を介して隣合った磁性薄膜層の保磁力は互いに異なっていることが必須である。その理由は、本発明の原理が、隣合った磁性層の磁化の向きがズレているとき、伝導電子がスピンの依存した散乱を受け、抵抗が増え、磁化の向きが互いに逆向きに向いたとき、最大の抵抗を示すことにあるからである。すなわち、本発明では、図2で示すごとく外部磁場が磁性薄膜層の保磁力 $H_{c2}$ と磁性薄膜層の保磁力 $H_{c3}$ の間（ $H_{c2} < H < H_{c3}$ ）であるとき、隣合った磁性層の磁化の方向が互いに逆向きになり、抵抗が増大する。なお、外部磁場、保磁力及び磁化の方向の関係に付いては後に詳述する。

【0008】本発明の磁性薄膜に用いる磁性体の種類は特に制限されないが、具体的には、Fe、Ni、Co、Mn、Cr、Dy、Er、Nd、Tb、Tm、Ce、Gd等が好ましい。また、これらの元素を含む合金や化合物としては、例えば、Fe-Si、Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Gd、Fe-Al-Si（センダスト等）、Fe-Y、Fe-Mn、Cr-Sb、Co系アモルファス合金、Co-Pt、Fe-Al、Fe-C、Mn-Sb、Ni-Mn、Co-O、Ni-O、Fe-O、Ni-F、フェライト等が好ましい。

【0009】本発明では、これらの磁性体から保磁力の異なる2種またはそれ以上を選択して磁性薄膜を形成する。

【0010】各磁性薄膜層の膜厚の上限は、200オングストロームである。一方、磁性薄膜の厚さの下限は特にないが、4オングストローム以下はキュリー点が室温より低くなって実用性がなくなる。また、厚さを4オングストローム以上とすれば、膜厚を均一に保つことが容易となり、膜質も良好となる。また、飽和磁化の大きさが小さくなりすぎることもない。膜厚を200オングストローム以上としても効果は落ちないが、膜厚の増加に伴って効果が増大することもなく、膜の作製上無駄が多く、不経済である。

【0011】各磁性膜の保磁力は、適用される素子における外部磁界強度や要求される抵抗変化率等に応じて、例えば約0.001Oe～約10kOeの範囲から適宜選択すればよい。また、隣接する磁性薄膜の保磁力の比は、1:2:1～100:1、好ましくは5:1～50:1、より好ましくは8:1～20:1である。

【0012】なお、磁気抵抗効果素子中に存在する磁性薄膜の磁気特性を直接測定することはできないので、通常、下記のようにして測定する。測定すべき磁性薄膜を、磁性薄膜の合計厚さが200～400オングストロ

ーム程度になるまで非磁性薄膜と交互に蒸着して測定用サンプルを作製し、これに付いて磁気特性を測定する。この場合、磁性薄膜の厚さ、非磁性薄膜の厚さ及び非磁性薄膜の組成は、磁気抵抗効果測定素子におけるものと同じにする。

【0013】保磁力以外の磁性薄膜の磁気特性に特に限定はないが、低保磁力の磁性薄膜の角形比は0.9～1.0であるのが好ましい。

【0014】非磁性薄膜層は、保磁力の異なる磁性薄膜層間の磁気相互作用を弱める役割をはたす材料であり、その種類に特に制限はなく、各種金属ないし半金属非磁性体及び非金属非磁性体から適宜選択すればよい。

【0015】金属非磁性体としては、Au, Ag, Cu, Pt, Al, Mg, Mo, Zn, Nb, Ta, V, Hf, Sb, Zr, Ga, Ti, Sn, Pb等及びこれらの合金が好ましい。半金属非磁性体としては、Si, Ge, C, B等及びこれらに別の元素を添加したものが好ましい。非金属非磁性体としては、SiO<sub>2</sub>, SiO, SiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, MgO, TiN等及びこれらに別の元素を添加したものが好ましい。

【0016】非磁性薄膜の厚さは、200オングストローム以下が望ましい。一般に膜厚が200オングストロームを超えると、非磁性薄膜層により抵抗が決まってしまう、スピンの依存する散乱効果が相対的に小さくなってしまい、その結果、磁気抵抗変化率が小さくなってしまふ。一方、膜厚が4オングストローム以下になると、磁性薄膜層間の磁気相互作用が大きくなり過ぎ、両磁性薄膜の磁化方向が相異なる状態が生じにくくなる。

【0017】磁性又は非磁性薄膜の膜厚は、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、オージェ電子分光分析等により測定することができる。また、薄膜の結晶構造は、X線回折や高速電子線回折等により確認することができる。

【0018】本発明の磁気抵抗効果素子において、人工格子膜の繰返し積層回数Nに特に制限はなく、目的とする磁気抵抗変化率等に応じて適宜選定すればよいが、十分な磁気抵抗変化率を得るためには、Nを3以上にするのが好ましい。また、積層数を増加するに従って、抵抗変化率も増加するが、生産性が悪くなり、さらにNが大きすぎると素子全体の抵抗が低くなりすぎて実用上の不便が生じることから、通常、Nを50以下とするのが好ましい。

【0019】以上の説明では、磁性薄膜として保磁力の異なる2種類の磁性薄膜だけを用いているが、保磁力がそれぞれ異なる3種以上の磁性薄膜を用いることにより、磁化方向が逆転する外部磁界を2箇所以上設定でき、動作磁界強度の範囲を拡大することができる。

【0020】なお、最上層の磁性薄膜の表面には、窒化けい素や酸化けい素等の酸化防止膜が設けられてもよく、電極引出のための金属導電層が設けられてもよい。

【0021】製膜は、蒸着法、スパッタリング法、分子線エピタキシー法(MBE)等の方法で行う。また、基板としては、ガラス、けい素、MgO, GaAs, フェライト, CaTiO<sub>3</sub>等を用いることができる。

【0022】ここで、外部磁場、保磁力及び磁化の方向の関係を説明する。簡素化の為、保磁力の異なった2種類の磁性薄膜②及び③に限定して説明する。図2に示すように、2種類の磁性薄膜層のH<sub>c</sub>をそれぞれH<sub>c2</sub>及びH<sub>c3</sub>とする(0<H<sub>c2</sub><H<sub>c3</sub>)。最初、外部磁場Hを、H<-H<sub>cm</sub>(H<sub>cm</sub>は、磁性薄膜③の磁化が飽和する外部磁界である。)となるようにかけておく。磁性薄膜層②及び③の磁化方向は、Hと同じ(負)方向に向いている。次に外部磁場を上げていくと、H<H<sub>c2</sub>の領域(I)では、まだ両磁性薄膜層磁化方向は一方方向に向いている。

【0023】外部磁場を上げてH<sub>c2</sub><H<H<sub>c3</sub>の領域(II)になると、磁性薄膜層②の磁化方向が反転し、磁性薄膜層②及び③の磁化方向は互いに逆向きになる。更に外部磁場を大きくしたH<sub>cm</sub><Hの領域(III)では、磁性薄膜層②及び③の磁化方向は、+方向に揃って向く。

【0024】今度は外部磁場Hを減少させると、-H<sub>c2</sub><Hの領域(IV)では磁性薄膜層②及び③の磁化方向は+方向のままであるが、-H<sub>c3</sub><H<-H<sub>c2</sub>の領域(V)では、磁性薄膜層②の磁化方向は一方方向に反転し、磁性薄膜層②及び③の磁化方向は互いに逆向きになる。更に、H<-H<sub>cm</sub>の領域(VI)では、磁性薄膜層②及び③の磁化方向は一方方向に揃って向く。この磁性薄膜層②及び③の磁化方向が互いに逆向きになっている領域(II)及び(V)で、伝導電子がスピンに依存した散乱を受け、抵抗は大きくなる。

【0025】磁性薄膜層②に例えばH<sub>c</sub>の小さなNi<sub>0.8</sub>Fe<sub>0.2</sub>(H<sub>c2</sub>数Oe)を選び、磁性薄膜層③にH<sub>c</sub>のやや大きい例えばCo(H<sub>c3</sub>数十Oe)を選ぶことにより、外部磁場H<sub>c2</sub>付近の小外部磁場で大きな抵抗変化率を示すMR素子が得られる。

【0026】

【実施例】本発明の磁気抵抗効果素子を添付図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施例である人工格子膜1の断面図である。図1において、人工格子膜1は、基板4上に磁性薄膜M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, ..., M<sub>-1</sub>, Mを有し、隣接する2層の磁性薄膜の間に、非磁性薄膜N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, ..., N<sub>-2</sub>, N<sub>-1</sub>を有する。

【0027】以下、本発明を具体的な実験結果により説明する。

#### 実施例1

基板としてガラス基板4を用い、超高真空蒸着装置の中に入れ、10<sup>-9</sup>～10<sup>-10</sup>torrまで真空引きを行う。基板温度は室温に保ったまま基板を回転させながら、以下の組成をもつ人工格子膜1を作製した。磁界を基板の

面内方向に印加しながら、約0.3オングストローム/秒の剥離速度で、剥離を行った。

【0028】磁性薄膜と非磁性薄膜とからなる多層膜の構成及び磁気抵抗変化率を下記表1に示す。なお、表1において、例えば、 $[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Cu}(20)/\text{Co}(30)/\text{Cu}(20)]_s$ と表示されている場合、30オングストローム厚のNi80%-Fe20%の合金薄膜、20オングストローム厚のCu薄膜、30オングストローム厚のCo薄膜及び20オングストローム厚のCu薄膜を順次蒸着する工程を5回繰り返したことを意味する。

【0029】磁化の測定は、振動型磁力計により行った。抵抗測定は、表1に示される構成の試料から0.3\*

\*×10mmの形状のサノブルを作成し、外部磁界を面内に電流と垂直方向になるようにかけながら、-500~500Oeまで変化させたときの抵抗を4端子法により測定し、その抵抗から磁気抵抗変化率 $\Delta R/R$ を求めた。抵抗変化率 $\Delta R/R$ は、最大抵抗値を $R_{\max}$ 、最小抵抗値を $R_{\min}$ とし、次式により計算した：

【0030】

【数1】

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\min}} \times 100(\%)$$

【0031】

【表1】

人工格子膜構成	$\Delta R/R(\%)$
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_1$	1.2
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_2$	2.9
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_3$	4.1
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_5$	5.5
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_7$	6.1
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_{10}$	7.5
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_{15}$	8.8
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.15}\text{Mo}_{0.05}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_5$	5.0
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Pt}(50)/\text{Co}(25)/\text{Pt}(50)]_5$	3.0
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Al}(4)/\text{Co}(25)/\text{Al}(4)]_{15}$	3.0
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(25)/\text{Ti}(4)/\text{Co}(25)/\text{Ti}(4)]_{15}$	4.0

【0032】図3及び図4に $[\text{NiFe}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_5$ のB-H曲線及び外部磁場-抵抗曲線をそれぞれ示す。

【0033】実施例2

実施例1と同様にして表2に示す構成の6種の磁気抵抗効果素子を作成した。

※ 【表2】

人工格子膜構成	$\Delta R/R(\%)$	
	H//E.A.	H//E.A.
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Cu}(20)/\text{Co}(30)/\text{Cu}(20)]_{15}$	1.4	--
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Cu}(35)/\text{Co}(30)/\text{Cu}(35)]_{15}$	4.4	--
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Cu}(50)/\text{Co}(30)/\text{Cu}(50)]_{15}$	9.9	8.8
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Au}(20)/\text{Co}(30)/\text{Au}(20)]_{15}$	2.9	0.7
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Au}(35)/\text{Co}(30)/\text{Au}(35)]_{15}$	4.0	2.9
$[\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}(30)/\text{Au}(50)/\text{Co}(30)/\text{Au}(50)]_{15}$	4.7	--

【0036】 $[\text{Fe}(30)/\text{Cu}(35)/\text{Co}(30)/\text{Cu}(35)]_{15}$ および $[\text{Ni}(30)/\text{Cu}(35)/\text{Co}(30)/\text{Cu}(35)]_{15}$ の構成でも上記とほぼ同様の効果を得た。

【0037】尚、上記実施例の他に、非磁性薄膜層の種類、膜厚を変える実験を行ったところ、人工格子膜のB-H曲線の形状が少しずつ変わり、それにつれて抵抗変化率 $\Delta R/R$ の大きさ、外部磁場-抵抗曲線の形状、最大抵抗値 $R_{\max}$ を示すときの外部磁場HRが変化することが明らかとなった。すなわち、本発明の磁気抵抗効果素子では、磁性薄膜の磁気特性、非磁性薄膜の厚さ、種類を選択することにより、極めて高い抵抗変化率が実現

※ 【0034】膜の容易軸方向(E. A.)又は困難軸方向(H. A.)に外部磁場を-3000Oe~3000Oeまで変化させてかけ、抵抗変化率を測定した。結果を表2に示す。

【0035】

し、しかも抵抗値が最大となる磁界強度を比較的自由に設定することができる。

【0038】

【発明の効果】本発明は、以上説明した通りの磁気抵抗効果素子で、数Oe~数十Oe程度の小さい外部磁場で数%~数十%の大きい抵抗変化率をもつ磁気抵抗効果素子が得られる。従って高感度のMRセンサー及び高密度磁気記録が可能なMRヘッドを提供することできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る磁気抵抗効果素子の一部省略側面図である。

【図2】 本発明の作用を説明するB-H曲線の模式図である。

の外部磁界Hと抵抗Rとの関係を示す曲線である。

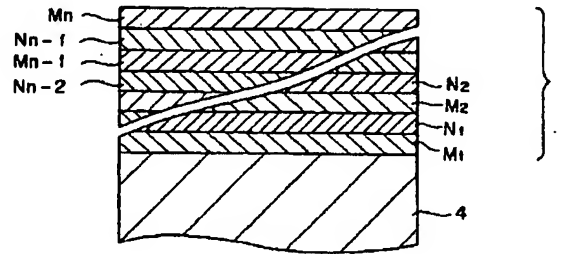
【符号の説明】

【図3】  $[\text{NiFe}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_s$  のB-H曲線である。

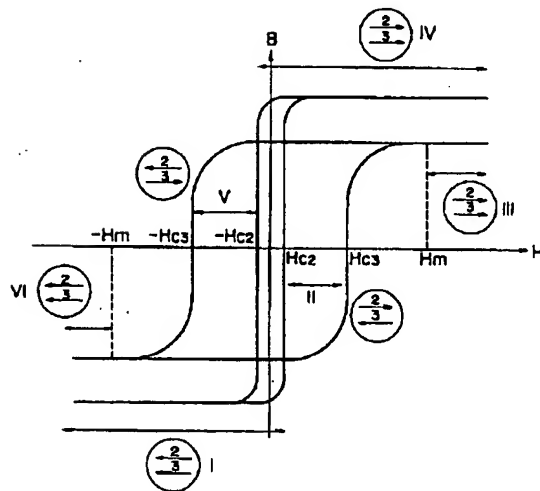
1 : 人工格子膜、 $M_1, M_2, \dots, M_{-1}, M$  : 磁性薄膜層、 $N_1, N_2, \dots, N_{-1}$  : 非磁性薄膜層、4 : 基板

【図4】  $[\text{NiFe}(25)/\text{Cu}(55)/\text{Co}(25)/\text{Cu}(55)]_s$

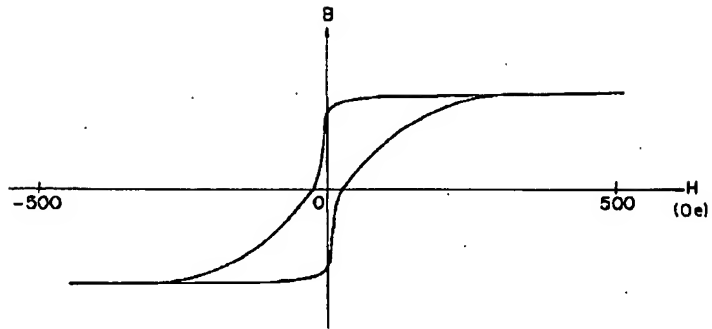
【図1】



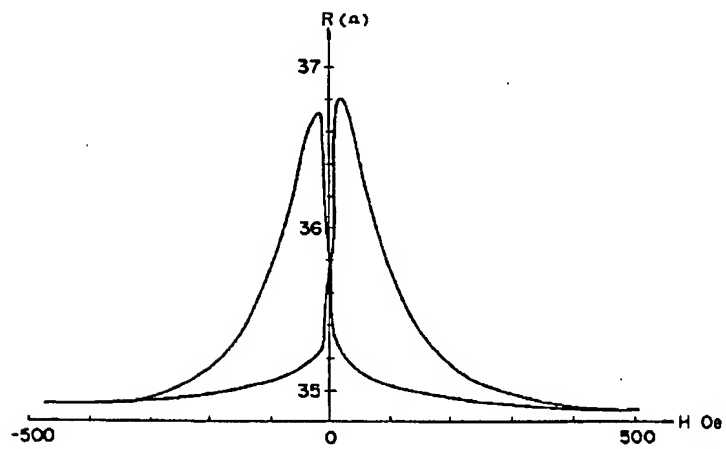
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

- (31) 優先権主張番号 特願平2-244669  
 (32) 優先日 平2(1990)9月14日  
 (33) 優先権主張国 日本(JP)